

BANCO DE DATOS DE MOVIMIENTO FUERTE DEL SUELO MFS DESARROLLADO EN EL PROYECTO DAÑOS

L. Cabañas¹, B. Benito¹, C. Cabañas¹, M.E. Jiménez¹, P. Gómez¹, M. López², S. Álvarez²,
M.S. Ramírez³, R. Nuche⁴

(1) EUIT Topográfica. UPM, (2) EUIT Industrial. UPM, (3) CSN, (4) ENRESA
luisr@limbo.euito.upm.es

RESUMEN

Una de las principales actividades realizadas en el Proyecto Daños, ha sido la construcción de un banco de datos de movimiento fuerte del suelo, recopilando y clasificando acelerogramas y espectros de todo el mundo. Éste se complementa con una base de datos, donde está catalogada la información sísmica disponible correspondiente a los registros, y con el software desarrollado para consultas, procesado de registros, representación gráfica y cálculo de parámetros derivados. En este trabajo se presentan las características del banco y la base de datos desarrollados, incidiendo en aspectos como su composición, la estructura de la información, posibles explotaciones, etc. El diseño adoptado ha de facilitar la selección de registros y parámetros para su tratamiento y análisis, y posteriores aplicaciones en el campo de la Ingeniería Sísmica.

Palabras clave: acelerograma, banco de datos, base de datos, movimiento fuerte del suelo

SUMMARY

One of the main activities developed in Daños Project has been the design of a strong motion databank, compiling and classifying accelerograms and spectra from all over the world. This databank is complemented with an associate database where the available seismic information corresponding to the records is catalogued, and, with a developed software for: consulting purposes, record processing, graphic representation and derived parameter assesment. In this work the characteristics of the developed databank and database are presented, emphasizing in aspects such as its composition, the information structure, possible exploitations, and so forth. The adopted design makes easier the selection of the records and parameters for its analysis and treatment, and later applications in the Earthquake Engineering field.

Key words: accelerogram, strong motion databank, strong motion database

Introducción

El diseño sísmico de estructuras de especial importancia o de instalaciones críticas, requiere que éstas resistan perfectamente las cargas sísmicas esperadas. Para ello, es necesario conocer detalladamente tanto la naturaleza del movimiento del suelo producido por los terremotos, como el comportamiento de la estructura y sus materiales ante estas cargas dinámicas. Sin embargo el comportamiento y los efectos de las ondas sísmicas en campo cercano, donde tiene lugar el movimiento fuerte, depende de forma muy compleja de numerosos parámetros de la fuente, del medio, y del emplazamiento, que son generalmente difíciles de estimar y relacionar. Por esta razón, en las aplicaciones de ingeniería sísmica, se ha tratado de buscar siempre, leyes y relaciones que fueran de la mayor simplicidad posible, que estuvieran basadas en datos observados fiables, y en las que intervinieran variables con un significado directo en el cálculo de estructuras. Los registros de movimiento fuerte (acelerogramas) son los datos de entrada básicos para la estimación de tales relaciones referentes al movimiento del suelo causado por terremotos y a sus efectos, y el gran volumen de datos obtenidos, durante las últimas décadas, en todo el mundo, es por tanto, una valiosa

fuerza de información para cualquier investigación y aplicación práctica relacionada con la mitigación de riesgos sísmicos. Una adecuada recopilación y clasificación de estos registros, en un banco de datos, atendiendo a sus características geológicas, geofísicas y sismológicas, es un requisito previo fundamental para hacer un uso eficaz de esta información y en concreto para la realización de posteriores estudios tales como el desarrollo de modelos empíricos de atenuación de aceleraciones y velocidades pico y espectrales, en función de magnitud, distancia y condiciones locales; la selección de espectros de respuesta reales para construir o verificar espectros de diseño y de control; la selección de historias temporales del movimiento para la realización de análisis dinámicos de respuesta; el estudio empírico del efecto local del suelo; la realización de estudios empíricos de vulnerabilidad y daños (riesgo sísmico específico); etc. Por estos motivos, la tarea de construir un banco de datos de movimiento fuerte ha sido abordada con anterioridad en numerosos lugares, a medida que se ha ido incrementando el número de registros. Así por ejemplo, EEUU es el país con mayor número de recopilaciones y bancos de datos y en general con gran facilidad de acceso a los mismos (Wald 1997), como son el del SCEC (Southern Cal. Earthq. Center), el del NCEER (National Center for Earthq. Eng. Research, Lamont Doherty Obs.), el del CDMG (Cal. Division of Mines & Geology) y el del USGS (U.S. Geological Survey). En Europa cabe destacar el banco de datos compartido ENEA-ENEL (Italia), CEA-IPSN (Francia) e Imperial College (Inglaterra), desarrollado desde 1987, en el que cada institución ha implementado sus propios sistemas de explotación y base de datos (Goula et al. 1988, CEA/IPSN 1989, Bommer 1991, Bommer y Ambraseys 1992); el realizado por el NORSAR (Noruega), y también el del CSEM (European-Mediterranean Seismological Centre) desarrollado desde 1994 por el CDGS (Center of Geophysical Computer Data Studies, Rusia) y cuya base de datos posee un interfaz web (Mikoyan et al. 1997). Aunque los datos de mayor importancia son siempre los de los registros de la propia región sísmica, en regiones de baja o moderada sismicidad, como es el caso de la Península Ibérica, los datos de otras regiones, adyacentes o lejanas, pueden resultar muy interesantes y aprovechables si pueden establecerse afinidades tectónicas con éstas.

El banco de datos de movimiento fuerte del suelo MFS, con datos de todo el mundo, que en este trabajo se presenta ha sido desarrollado durante la ejecución del Proyecto Daños, como parte de uno de los objetivos primarios del mismo.

Estructura del Banco de Datos MFS

Una primera fase en la construcción del banco de datos ha sido el diseño del modelo adecuado para el almacenamiento y gestión de los datos, y en el que cabe distinguir tres partes bien diferenciadas:

- El banco de datos propiamente dicho, que consta de una extensa colección de acelerogramas y espectros de todo el mundo, registrados a diferentes distancias y en diferentes tipos de emplazamientos.
- Un sistema de catalogación o base de datos que contiene numerosas características y parámetros de los registros de movimiento.
- Una serie de programas y utilidades informáticas destinadas a la explotación y tratamiento de los datos.

A continuación se explican de forma resumida cada una de estas partes.

Los ficheros de datos del movimiento del suelo tienen formato ASCII, y son historias temporales del movimiento y espectros correspondientes al registro de una componente direccional. La serie total de subproductos resultado de diferentes tratamientos se compone de: aceleración sin corregir, aceleración corregida más sus integrales velocidad y desplazamiento, espectros de respuesta (para diferentes amortiguamientos) y espectros de amplitudes de Fourier. Cada fichero contiene una cabecera con información de los datos referentes al terremoto, la estación de registro y el acelerógrafo empleado. Después de dicha cabecera se tienen los datos correspondientes a las historias temporales o espectros. Los datos están almacenados en el disco de una estación de trabajo (Sun) con sistema operativo Unix (Solaris), que además dispone de una unidad de cinta para almacenamiento masivo y copias de seguridad.

La clasificación de estos ficheros, se ha basado en primer lugar en la procedencia geográfica de los datos. Se ha realizado una clasificación en forma de árbol de directorios con un primer nivel de agrupamiento por grandes regiones geográficas, dentro de éstas un segundo nivel por países, y finalmente en cada país un tercer nivel que contiene los ficheros en diferentes carpetas numeradas secuencialmente y en cuya denominación se incluye una letra 'n' para acelerogramas no corregidos, 'c' para corregidos, y 'e' para espectros. Todos los ficheros originales han sido renombrados siguiendo esta nomenclatura que permite una identificación rápida de los mismos en cuanto a procedencia geográfica de los datos y a localización física en el banco de datos.

El banco de datos se mantiene en los formatos originales recibidos. Sin embargo, la diversidad de procedencias de los datos, países y agencias, conlleva implícita la diversidad de formatos de los ficheros. Esta variabilidad ha de multiplicarse por tres, pues se tienen tres tipos de ficheros: acelerogramas no-corregidos, acelerogramas corregidos y espectros, e incide sobre todo en la mayor o menor facilidad de automatización para su lectura. Para resolver este problema se han elaborado programas que permiten la conversión a formatos uniformes. Todos los ficheros pueden ser leídos y convertidos, cuando así se precise, a otros formatos ya conocidos (programa ITADaños). Paralelamente se ha realizado una réplica de la estructura de directorios del banco, con los acelerogramas corregidos convertidos (programas asc2sac.f) al formato binario definido por el programa SAC (Seismic Analysis Code, Lawrence Livermore Nat. Lab.). La principal utilidad de esta conversión, está en disponer de un formato uniforme, que ocupa menor espacio por ser binario, y que puede ser utilizado directamente por el programa SAC de tratamiento de señales sísmicas. También debido a las diferentes procedencias, antes aludidas, se ha dedicado especial atención a la unicidad de los datos, y para ello se han realizado revisiones, en las que se han identificado tanto registros duplicados, como segundas correcciones y digitalizaciones, que constaban inicialmente como pertenecientes a terremotos y/o estaciones diferentes.

La base de datos, como sistema de catalogación de los registros del movimiento y de las características de interés asociadas a éstos, es una herramienta fundamental para la selección y explotación de la información existente. Esencialmente, un determinado registro del movimiento queda identificado por el tiempo origen y la localización del terremoto, la estación en la que ha sido registrado, la dirección de la componente y el nombre del fichero donde tal registro (de una componente) se guarda.

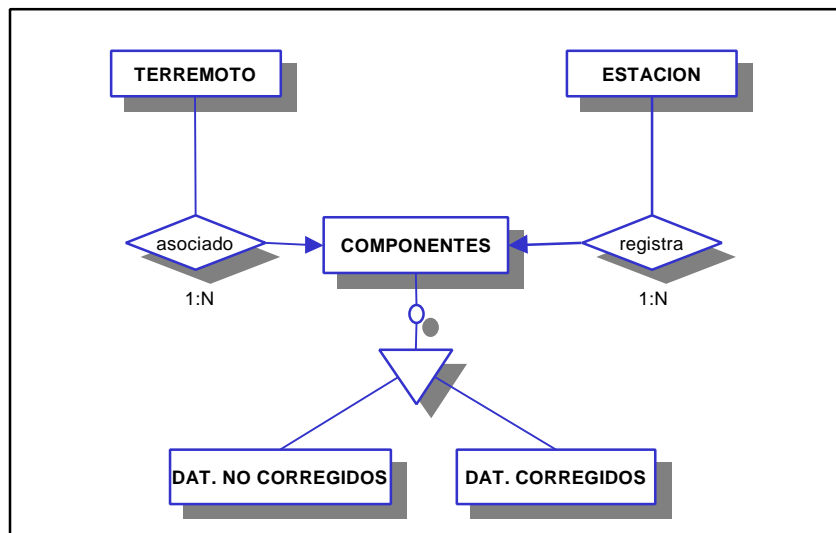


Figura 1.- Esquema Entidad-interrelación para el diseño de la base de datos

El modelo de datos adoptado está basado en el esquema Entidad-interrelación que se muestra en la figura 1, en el que las entidades son representadas por rectángulos, y las interrelaciones por rombos. A partir de este esquema se ha pasado al modelo relacional construyendo una tabla para cada entidad, e incluyendo los campos considerados de interés para la explotación posterior de los datos.

Estas tablas y campos pueden verse en la figura 2. Teniendo en cuenta que se trata de una cantidad masiva de datos de todo el mundo, documentar de forma completa toda esta información, requerirá un importante esfuerzo de mantenimiento en el futuro. Finalmente, la base de datos ha sido implementada en el sistema Access de Microsoft, lo que facilita su utilización desde cualquier ordenador personal que disponga de este software, y no se descarta la migración a algún sistema de gestión de bases de datos más completo, en fases posteriores.

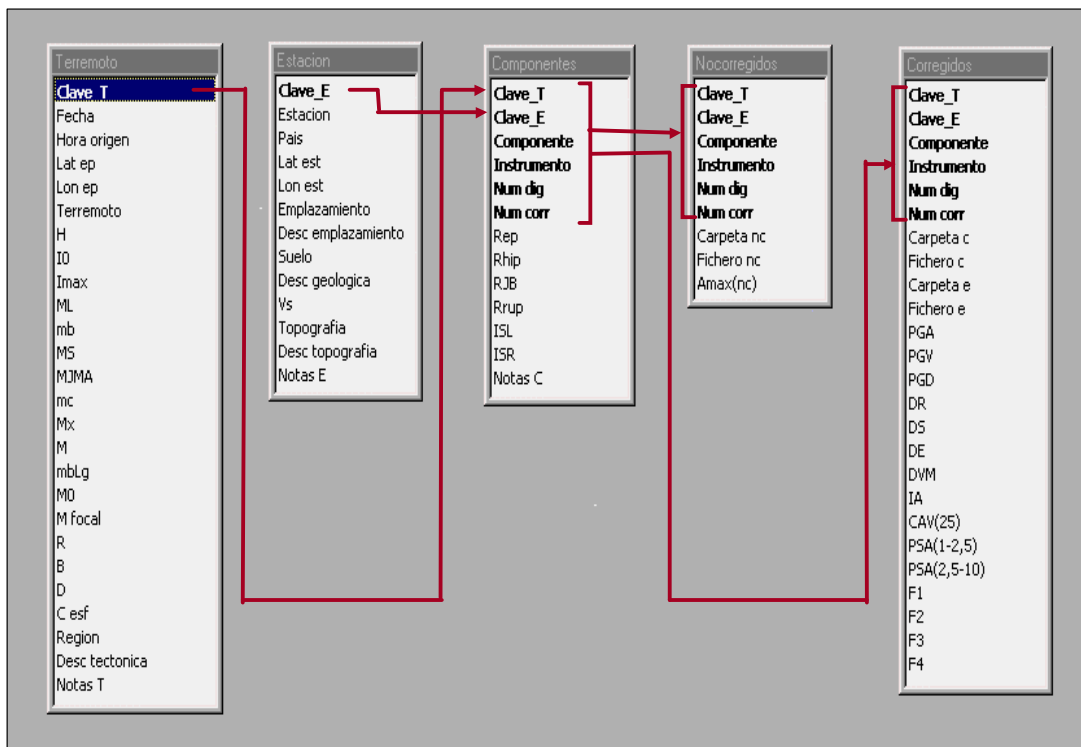


Figura 2.- Tablas y campos incluidos en la base de datos

La tabla Terremoto contiene los parámetros referentes a la localización, orientación y tamaño de la fuente del terremoto. Los parámetros de localización de cada evento vienen dados por los campos fecha, hora origen, latitud y longitud epicentrales y profundidad del foco. Los parámetros de tamaño de la fuente están expresados por los diferentes tipos de magnitud (M , M_s , m_b , M_L), el momento sísmico escalar y la caída de esfuerzos estática. Se incluye también en este grupo la intensidad epicentral y la intensidad máxima si ésta no coincide con la epicentral. Los parámetros que se han elegido para expresar el tipo de fuente del evento caracterizan el mecanismo focal y la orientación del plano de falla. El mecanismo ha de indicarse como normal (N), inverso (I), o desgarre (D), y además se añade si ha existido ruptura en superficie (R). Los campos que dan los ángulos de orientación del plano de falla, son el rumbo, el buzamiento y el deslizamiento.

La tabla Estación contiene los campos referentes a la localización de la estación donde se registró el evento, su clasificación en cuanto a tipo de emplazamiento (campo libre, edificio y planta, puente, utilidades etc.) y su clasificación en cuanto a tipo de suelo, (roca dura, basamento S1, roca sedimentaria y conglomerados S2, suelos y sedimentos glaciales S3, aluvión y sedimentos sin consolidar S4), con una breve descripción geológica de la superficie del emplazamiento. Se consideran

estaciones diferentes, aquellas en las que aún siendo el mismo emplazamiento, se dispusieron distintos instrumentos, por ejemplo en varias plantas de un edificio. Para poder considerar de manera más cuantitativa el efecto local se ha incluido el campo de velocidad de ondas S en el promedio de los últimos 30m (dato que no siempre es fácil de conocer). Además se ha incluido un campo que permita codificar de manera sencilla la topografía y otro de descripción topográfica para poder anotar detalles más específicos.

La tabla Componentes guarda la información común a cada componente del movimiento, como son, el modelo de instrumento y diferentes medidas de distancia entre la estación a la que pertenece la componente y el evento que produjo el registro. El nombre de la componente indica la dirección de la misma. El instrumento recoge tan solo el modelo de instrumento con el que se realizó el registro. Los campos número de digitalización y número de corrección han sido introducidos en la base de datos para poder identificar cuándo un mismo movimiento (registrado para el mismo evento, estación e instrumento) corresponde a una segunda (o diferente) digitalización o una segunda (o diferente) corrección, realizadas bien de distinta forma o bien por equipos diferentes y por ello, estos campos se incluyen también en las tablas siguientes. Las distancias que se han considerado, son la epicentral, la hipocentral, la distancia horizontal mínima a la proyección vertical de la ruptura, denominada distancia Joyner & Boore, (Joyner y Boore 1981) y también la distancia mínima a la superficie de ruptura denominada R_{rup} . Por último se han añadido dos campos de intensidad sentida en la estación, que se han denominado como Intensidad sentida local (cuando ésta haya sido determinada in situ), e Intensidad sentida regional (cuando la determinación se ha realizado para toda un área o está obtenida de mapas de isosistas).

En la tabla No-Corregidos se almacenan los parámetros relativos al registro sin corregir, esto es, el nombre del fichero que contiene la serie temporal y la aceleración pico sin corregir medida en g.

Por último, la información contenida en la tabla Corregidos para cada componente de movimiento, una vez corregido el acelerograma, corresponde a los valores pico registrados, Pga, Pgv, Pgd, diferentes medidas de duración, intensidad de Arias, velocidad absoluta acumulada (CAV), promedios de aceleración espectral en los intervalos de frecuencia [1,2.5] y (2.5,10] Hz, y la localización del fichero de la serie temporal corregida y del fichero de espectros en caso de existir.

Para facilitar la gestión, selección y análisis de los datos se han elaborado diferentes programas y utilidades informáticas.

En primer lugar, se ha realizado un programa de interfaz de la base de datos, cuyo objetivo es la consulta y explotación de ésta de una forma amigable al usuario. Este programa denominado MFSDaños, permite, por una parte, realizar una consulta general en la que se relacionan e incluyen todas las tablas y campos, y por otra, realizar consultas variables, en las que se puedan elegir diferentes parámetros de búsqueda y rangos de valores de éstos, formando la combinación lógica que se precise. En ambos casos, los resultados pueden verse hojeando la ficha individual de cada componente, o en un listado en forma de tabla, y pueden ser grabados en fichero o imprimirse para su utilización en tareas posteriores. Desde las citadas fichas puede también obtenerse un gráfico preliminar de la componente corregida (aceleración, velocidad y desplazamiento) en caso de que ésta exista. Un ejemplo del funcionamiento de este programa puede verse en la figura 3.

Para el procesado y tratamiento de los registros de movimiento, se ha preparado el programa denominado ITADaños (Interfaz de Tratamiento de Acelerogramas). Este programa permite leer y convertir a distintos formatos los ficheros del banco de datos, realizar procesados de corrección y cálculo de espectros de acelerogramas mediante diferentes enlaces vía shell con el programa BAP (Basic Accelerogram Processing) desarrollado en el USGS (Converse 1992, 1995), y por último, producir salidas gráficas de los ficheros de entrada y de los diferentes ficheros resultantes, bien en el mismo programa (gráficos draft), o bien enlazando con gráficos Excel de Microsoft, más adecuados para edición posterior. Un ejemplo del organigrama de funcionamiento del programa, el cuál puede ser utilizado también como menú básico durante la ejecución, puede verse en la figura 4.

Por último, también se han desarrollado otros programas y macros dedicados a la realización de diferentes tareas de interés, como lectura y conversión de formatos ASCII al formato binario SAC y viceversa (programas asc2sac.f y leesac.f), cálculo de parámetros como intensidad Arias, velocidad

absoluta acumulada, y diferentes duraciones, representación gráfica con salidas Postscript, filtrados paso-banda, razones espectrales, etc.

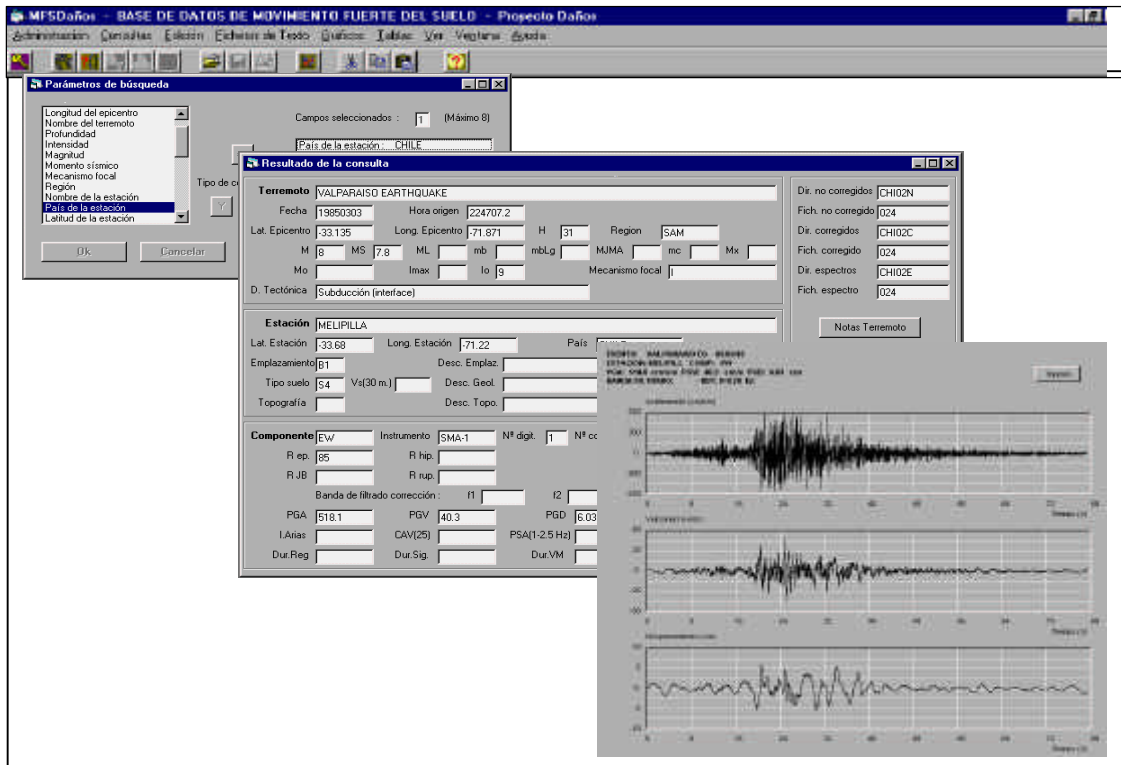


Figura 3.- Programa MFSDaños, interfaz de la base de datos.

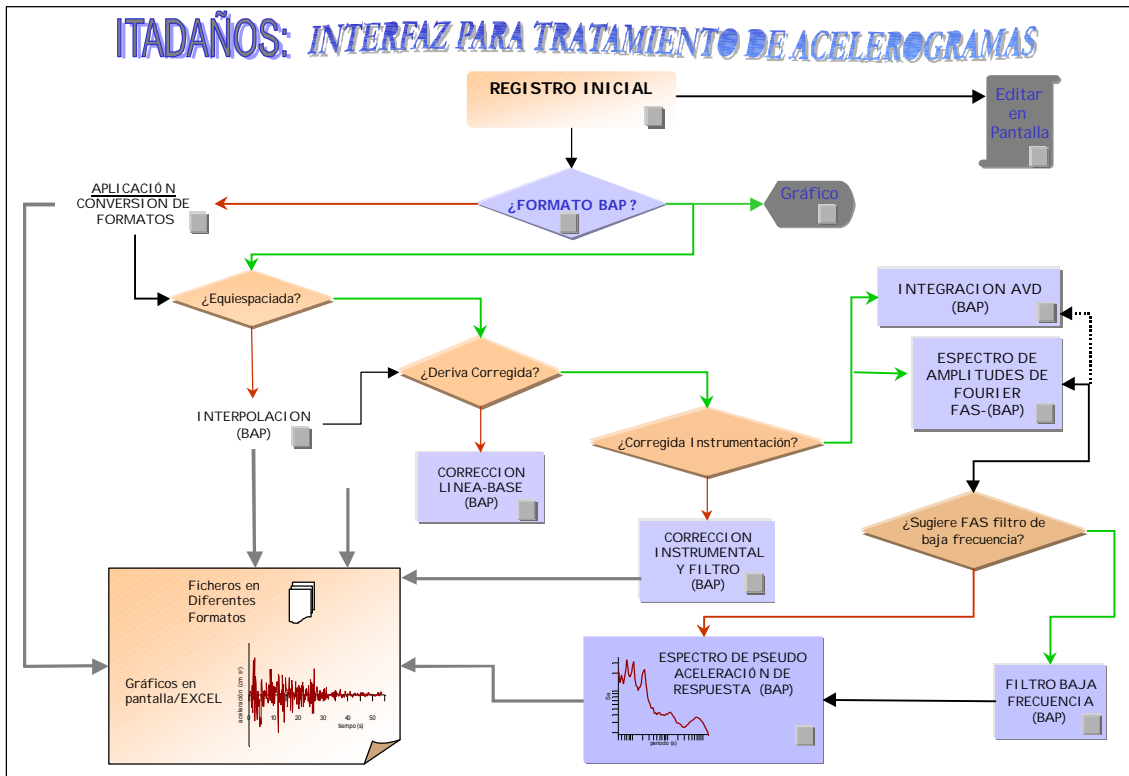


Figura 4.- Organigrama de funcionamiento del programa ITADaños

Contenidos del Banco de Datos MFS

La recopilación inicial realizada, procede de diferentes colecciones de acelerogramas, IGN, España (Carreño et al. 1998); ENEA, Italia; NGDC-NOAA, EEUU (Dunbar, Row, 1996); CISMID, Perú; y de trabajos de recopilación previos realizados por algunos de los autores del trabajo (Cabañas 1992, Benito 1993). Una vez realizada esta recopilación y clasificada la información tanto en el banco como en la base de datos ha sido necesario realizar sucesivas revisiones de los mismos con el fin de asegurar la unicidad y la calidad de los datos. Como resultado de estas revisiones, se han corregido errores, detectado datos duplicados y se han completado algunos otros datos inicialmente no disponibles. En la actualidad se dispone del orden de quince mil componentes de movimiento registrado, en su mayor parte de instrumentos analógicos, de las cuales puede existir la serie procesada completa, acelerograma no corregido, corregido y espectros, o tan solo alguno de éstos.

Tabla 1

Contribución de datos al Banco MFS en eventos y registros (porcentajes)

REGIÓN	PAÍSES	CONTRIBUCIÓN (% terremotos)	CONTRIBUCIÓN (% registros)
ASI. <i>Región Asiática</i>	China, India, Taiwan	10.5	26.8
AUS. <i>Región Austral</i>	Australia, Fiji, N. Zelanda, Papua	5.5	2.9
CAM. <i>Centroamérica</i>	Costa Rica, México, Nicaragua, Salvador	23.7	14.9
JAP. <i>Japón</i>	Japón	4.7	1.9
MED. <i>Región Mediterránea</i>	Alemania, Argelia, Bulgaria, España, Grecia, Iran, Italia, Portugal, Rumania, Turquía, Yugoslavia	19.6	12.6
NAM. <i>Norteamérica</i>	Canadá, EEUU	30.5	38.3
CEI. <i>Confederación de Estados Independientes</i>	Rusia y antiguas Repúblicas Soviéticas	4.3	1.2
SAM. <i>Sudamérica</i>	Argentina, Chile, Perú	1.2	1.2

La distribución geográfica de estos datos en grandes regiones, como se muestra en la tabla 1, da el mayor porcentaje de contribución de datos a América del Norte, dado que los acelerógrafos comenzaron a instalarse aproximadamente unos 30 años antes que en Europa (Bommer y Ambraseys 1992), y es una región de alta actividad tectónica, en particular, la zona Oeste. La Región Asiática es la siguiente en porcentaje de contribución de registros (aunque no en número de eventos), fundamentalmente debido a la red densa Smart1 de Taiwan, y después siguen Centroamérica, con una gran cantidad de registros de México, la Región denominada Mediterránea, de la que Italia es el país que más datos aporta, la Región Austral, la Región de Japón, la región denominada CEI que incluye a Rusia y las antiguas Repúblicas Soviéticas (aún sin desglosar) y Sudamérica.

Tabla 2

Inventario preliminar de la Base de Datos

TERREMOTOS		ESTACIONES						COMPONENTES			
1400		1652						15124			
M ≤4.0	M >4.0	EDIFICIOS		CAMPO. LIBRE	UTILIDADES			SIN ASIG.	SOLO NO-CORREG	SOLO CORREG	NO-CORREG. + CORREG.
738	662	720		245	324			351	8447	2685	3992
		Sótano	Resto		Puentes	Presas	Otros				
		182	538		25	131	168				

El inventario actual de la base de datos, produce los resultados que se muestran en la tabla 2, en cuanto a número de terremotos, estaciones y componentes. Aunque este inventario ha de considerarse como no definitivo, pues se continúa actualmente revisando y documentando datos, puede dar una idea del volumen de información manejado. El alto número de eventos (y por tanto componentes) con magnitudes pequeñas se debe a la inclusión en el banco de numerosos registros debidos a réplicas (por ejemplo de México), enjambres de eventos (Arkansas), y otros de zonas de sismicidad moderada (por ejemplo España).

Conclusiones

La importancia que los registros de movimiento fuerte tienen en el campo de la Ingeniería Sísmica, hace que sea fundamental la recopilación y clasificación ordenada de éstos en un banco de datos, con el fin último de poder explotar adecuadamente esta información. El banco de datos MFS, cuyas características principales se han expuesto en este trabajo es por tanto una importante herramienta a tener en cuenta para numerosas aplicaciones dentro de este campo.

Referencias

- Joyner W. B., Boore D.M. (1981)**, "Peak acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake", BSSA Vol 71, pp. 2011-2038.
- Goula X., Rinaldis D., Bommer J.J., Mohammadioun B. (1988)**, "Developments Recents en matiere de Creation d'une banque de donnés de mouvements forts, comune au CEA/IPSN (France), à l'ENEA (Italie) et l'Imperial College (G. Bretagne)", .AFPS 1988.
- Bommer J.J. (1991)**, "The Design and Engineering Application of an Earthquake Strong-Motion Database", Tesis Doctoral, Imperial College, Dep. Civil Engineering, July 1991.
- Bommer J.J., Ambraseys N.N. (1992)**, "An Earthquake Strong-Motion Databank and Database", Proc. of 10th WCEE. Vol. 2, pp 207-210. Madrid 1992.
- Cabañas L. (1992)**, "Banco de Acelerogramas. Informe Final" Informe Beca CSN. Sept. 1992.
- Converse A.M.(1992)**, "BAP: Basic Strong-Motion Accelerogram Processing Software. Version 1.0", USGS, Open-File Report 92-296A
- Benito B.(1993)**, "Estimación de parámetros sísmicos y espectros específicos de respuesta característicos del movimiento del suelo en emplazamientos de la Península Ibérica", Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid 1993.
- Converse A.M.(1995)**, "BAP version 1.1", USGS, Open-File Report 92-296B
- P. Dunbar, L.W. Row III (1996)**, "SMCAT. An Earthquake Strong Motion Catalog for Personal Computers (Version 3)", NOAA, Boulder, Colorado, USA.
- Mikoyan A., Burstev A., Gvishiani A., Zhizhin M. (1997)**, "ESMC Strong-Motion Database: www Interface", CSEM, Newsletter N° 11, July 1997.
- Wald D. (1997)**, "Surfing the Internet for Strong-Motion Data", Seismol. Research Let. Vol. 68 N° 5, pp. 766-769
- E. Carreño, A. Suárez, J.M. Tordesillas (1998)**, "Base de Datos de Aceleración 1984-1997", CD-Rom, Ministerio de Fomento, Inst. Geográfico Nacional (IGN).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado durante la ejecución del Proyecto Daños, financiado por el CSN y ENRESA y realizado en la EUIT Topográfica -UPM (1997-98). Los autores agradecen también la aportación desinteresada del IGN.